

INFRASTRUKTUR

PERBAIKAN SIFAT GEOTEKNIS TANAH DASAR UNTUK JALAN DENGAN ABU BATUBARA

Geotechnical Properties Improvement of Clay Using Coal Ash

Irdhiani

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

Email : irdhiani@yahoo.co.id

ABSTRACT

Coal ash is a solid waste that is not soluble and non-volatile. At large amount without proper handling, the fly ash can pollute the environment. The form of fine particles of coal ash are amorphous and pozzolanic that can be used for stabilizing the clay with high plasticity and shrinkage and low carrying capacity when the water level is high. Coal ash is used as an additive in clay with a percentage of 0%, 10%, 20%, 25%, 30% and 40% of the dry weight of clay. The tests include physical properties and mechanical properties. Testing of clay mixed with coal ash include Atterberg limits, compaction, CBR and CBR without soaking bath. The test results showed that the addition of fly ash in clay soil can increase the carrying capacity and lower the soil plasticity index values from 24.81 to 7.93 at 40% ash coal. The percentage of the maximum coal ash in this study was 25%. In compaction test, the maximum dry weight of the value increased from 1.700 to 1.963 gr/cm³ and optimum moisture content decreased from 15.032% to 9.753. The CBR value without immersion increase from 6.91% to 20.56% and the CBR with immersion also increase from 3.46% to 12.12%. Coal ash content above 25% tend to decrease but the decline was not so great and still qualify as a subgrade layer for road pavement.

Keywords: bending strength, glulam beam, scarf joint

ABSTRAK

Abu batubara merupakan limbah padat yang tidak mudah larut dan tidak mudah menguap. Apabila jumlahnya banyak dan tidak ditangani dengan baik, maka abu batubara tersebut dapat mengotori lingkungan. Abu batubara berbentuk partikel halus amorf dan bersifat pozzolan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung yang memiliki plastisitas dan kembang susut yang tinggi serta daya dukung yang rendah bila kadar airnya tinggi. Abu batubara digunakan sebagai bahan aditif pada tanah lempung dengan persentase 0%, 10%, 20%, 25%, 30% dan 40% terhadap berat kering tanah lempung. Pengujian pada penelitian ini meliputi pengujian sifat-sifat fisik dan sifat-sifat mekanis. Pengujian campuran tanah lempung dengan abu batubara meliputi batas-batas Atterberg, pemadatan, CBR tanpa rendaman dan CBR rendaman. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan abu batubara pada tanah lempung dapat meningkatkan daya dukungnya dan menurunkan nilai indeks plastisitas tanah dari 24,81 menjadi 7,93 pada 40% abu batubara. Persentase abu batubara yang paling maksimal dalam penelitian ini adalah 25%. Pada pengujian pemadatan, nilai berat isi kering maksimum meningkat dari 1,700 gr/cm³ menjadi 1,963 gr/cm³ dan kadar air optimum menurun dari 15,032% menjadi 9,753. Pada pengujian CBR, nilai CBR tanpa rendaman dari 6,91% menjadi 20,56% dan nilai CBR rendaman dari 3,46% menjadi 12,12%. Kadar abu batubara diatas 25% cenderung mengalami penurunan tetapi penurunan yang terjadi tidak begitu besar dan masih memenuhi syarat sebagai lapisan tanah dasar untuk perkerasan jalan.

Kata Kunci : tanah berlempung, abu batubara, CBR.

PENDAHULUAN

Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berbahan bakar batubara biasanya menghasilkan limbah padat dalam bentuk abu. Jumlah abu batubara yang dihasilkan per hari dapat mencapai 500 - 1000 ton (www.tekmira.esdm.go.id). Abu batubara merupakan limbah padat yang tidak mudah larut dan tidak mudah menguap sehingga akan lebih merepotkan dalam penanganannya. Saat ini

umumnya abu terbang batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton dan berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan (www.majarikanayakan.com).

Tanah dasar memegang peranan penting dalam mendukung beban struktur yang

dibangun diatasnya sehingga tanah dasar harus memiliki daya dukung yang baik untuk menerima beban, baik akibat beban lalu lintas maupun akibat berat struktur lapisan perkerasan diatasnya. Selain harus memiliki daya dukung yang baik, lapisan tanah dasar juga harus memiliki sensitivitas yang rendah terhadap air. Tanah yang daya dukungnya sangat dipengaruhi oleh kadar air adalah lempung. Pada kondisi kering, tanah lempung memiliki daya dukung yang sangat tinggi tapi pada kadar air sedang/kondisi basah bersifat plastis atau menjadi lunak dan lengket dan apabila kadar airnya berlebihan dapat menjadi lumpur yang tidak mempunyai daya dukung sama sekali.

Pembangunan suatu jalan di atas tanah lempung tidak dapat dihindari sehingga untuk mengatasi masalah ini, perlu dilakukan usaha-usaha untuk memperbaiki sifat-sifat geoteknis dari tanah lempung tersebut. Salah satu cara untuk memperbaiki sifat-sifat geoteknis tanah lempung yang memiliki plastisitas dan kembang susut yang tinggi serta daya dukung yang rendah bila kadar airnya tinggi adalah dengan melakukan stabilisasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat-sifat geoteknis tanah setelah ditambahkan abu batubara, khususnya peningkatan nilai CBR sebagai syarat untuk lapisan perkerasan jalan. Penelitian ini diharapkan memberikan informasi terhadap masalah perbaikan tanah lunak dan memberikan kontribusi terhadap pemanfaatan abu batubara.

Tabel 1. Hubungan antara mineral lempung dengan aktivitas (Sumber : Bowles, 1991)

Mineral Lempung	Aktivitas	Tingkatan
Kaolinite	0,40 – 0,50	Paling kurang aktif
Illite	0,50 – 1,00	Aktivitas sedang
Montmorillonite	1,00 – 7,00	Paling aktif

b. Abu Batubara

Abu Batubara yang akan digunakan adalah hasil dari pembakaran batubara yang merupakan fraksi yang halus dimana partikelnya lolos saringan No. 200 standard ASTM (*America Society for Testing and Material*).

Abu batubara adalah bagian dari sisa pembakaran batubara pada Boiler pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus amorf dan bersifat pozzolan. Abu batubara yang merupakan limbah dari proses pembangkit tenaga listrik dapat berupa abu terbang, abu dasar dan lumpur flue gas desulfurization. Secara kimia abu batubara merupakan mineral alumino silikat yang banyak mengandung unsur-unsur Ca, K, dan Na disamping juga mengandung sejumlah kecil unsur C dan N. Secara fisika abu batubara tersusun dari partikel berukuran silt yang mempunyai karakteristik

a. Lempung dan Sifatnya

Lempung Merupakan tanah yang terdiri dari partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat plastis apabila dalam kondisi basah (Das, 1995).

sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran halus lebih kecil dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat (hardiyatmo, 2006).

Suatu tanah lempung dapat diperkirakan akan mempunyai perubahan volume yang besar apabila indeks plastistas, $IP \geq 20$ (Bowles, 1991). Sifat plastis dari suatu tanah adalah disebabkan oleh air yang terserap disekeliling permukaan partikel lempung, sehingga jenis dan jumlah mineral lempung yang dikandung di dalam suatu tanah akan mempengaruhi batas plastis dan batas cair tanah tersebut (Das, 1995).

Salah satu sifat yang kurang menguntungkan pada tanah lempung yaitu perubahan volume (pengembangan) yang besar. Aktivitas (A) digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung (Das, 1998). Nilai aktivitas dari mineral lempung dapat dilihat pada **Tabel 1** dan aktivitas dapat didefinisikan sebagai :

$$Aktifitas = \frac{\text{Indeks Plastisitas (IP)}}{\text{Persentase Lempung}}$$

kapasitas pengikatan air dari sedang sampai tinggi. (www.tekmira.esdm.go.id)

c. Pemadatan

Pemadatan dilakukan sebagai usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah (Bowles, 1991). Pemadatan bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat geoteknis tanah yaitu:

1. Memperbaiki kuat geser tanah
2. Mengurangi kompresibilitas
3. Mengurangi permeabilitas
4. Mengurangi perubahan volume apabila terjadi perubahan kadar air.

Tingkat kepadatan tanah diukur dari berat isi keringnya. Hasil percobaan pemadatan diperoleh kurva hubungan berat isi kering dan kadar air, kemudian dari kurva tersebut dapat ditentukan berat isi kering maksimum dan kadar air optimum.

d. California Bearing Ratio (CBR)

CBR ialah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama (Wesley, 1977). Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk menentukan CBR tanah dan campuran tanah agregat yang didapatkan dilaboratorium pada kadar air tertentu.

Pada pembuatan jalan baru, tanah dasar (*subgrade*) harus dipadatkan sebaik-baiknya untuk menjadikannya lebih kuat dan untuk menjamin supaya kekuatannya cukup seragam. Apabila tanah asli setempat ternyata kurang baik, maka tanah tersebut mungkin dapat diganti dengan tanah yang lain yang sifatnya lebih baik untuk menjadi tanah dasar (*subgrade*). Pemadatan tanah dasar ini harus dilakukan secara teratur, yaitu kadar airnya harus dipertahankan antara batas-batas tertentu (dekat pada kadar air optimum) dan kepadatan harus sedemikian rupa sehingga berat isi keringnya tidak kurang dari satu angka tertentu. Batas-batas kadar air dan berat isi kering dapat ditentukan dari hasil percobaan laboratorium, yaitu percobaan pemadatan dan CBR. Nilai CBR pada tiap lapisan perkerasan jalan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai CBR pada tiap Lapisan Perkerasan Jalan (Sumber, Sukirman, 1992)

Material	Nilai CBR (%)
<i>Subgrade</i>	6 – 19
<i>Subbase Course</i>	20 – 50
<i>Base Course</i>	> 50

Untuk memperhitungkan pengaruh air terhadap kekuatan tanah maka contoh tanah yang telah dipadatkan sering direndam di dalam air selama 4 hari sebelum dilakukan percobaan CBR. Selama masa perendaman ini contoh diberi beban pembentuk pelat yang bulat pada permukaannya, berat pelat ini disesuaikan dengan tekanan yang akan bekerja pada tanah dasar di lapangan akibat perkerasan yang ada di atasnya.

e. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah salah satu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan mutu tanah dasar sebelum digunakan. Stabilisasi tanah berarti mencampur tanah dengan suatu bahan tertentu yang berguna untuk mengubah atau memperbaiki tanah asal, sehingga diharapkan akan diperoleh sifat-sifat tanah yang lebih baik sesuai yang dikehendaki perencana. Sifat-sifat tanah dapat diubah dengan beberapa cara, diantaranya adalah mekanis,

kimiawi, thermal dan dengan alat-alat yang lain (Ingles dan Metchalf, 1972).

Stabilisasi tanah terdiri dari salah satu tindakan sebagai berikut: (Bowles, 1991)

1. Meningkatkan kepadatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi atau tahanan gesek yang timbul.
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi atau perubahan fisis pada tanah.
4. Menurunkan muka air tanah.
5. Mengganti tanah yang buruk dengan tanah yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

Tanah lempung yang digunakan berasal dari Desa Kalukubula Kecamatan Dolo, abu batu bara diambil dari PLTU di Kelurahan Panau Kecamatan Palu Utara dan air yang digunakan adalah air bersih dari Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Untad.

Contoh tanah yang digunakan adalah contoh tanah terganggu. Tanah tersebut dikeringkan terlebih dahulu dengan cara dijemur kemudian tanah yang menggumpal dihancurkan dengan palu karet sehingga dihasilkan butiran tanah yang lolos ayakan No.4 yang akan digunakan sebagai bahan penelitian. Pengujian sifat fisik meliputi analisa ukuran butir, batas-batas Atterberg dan berat jenis. Pengujian sifat mekanik meliputi pengujian pemadatan dan pengujian CBR dalam kondisi tanpa rendaman dan terendam.

Abu batubara digunakan sebagai bahan aditif pada tanah lempung dengan persentase 0%, 10%, 20%, 25%, 30% dan 40% terhadap berat kering tanah lempung. Pengujian sifat fisik tanah asli untuk mengetahui parameter tanah asli dan jenis mineral lempung yang dikandung oleh tanah tersebut sedangkan pengujian campuran tanah lempung dengan abu batubara meliputi batas-batas Atterberg, pemadatan dan CBR. Hasil dari pengujian campuran tanah lempung dengan abu batubara akan dibandingkan dengan hasil pengujian tanah asli kemudian dianalisa untuk selanjutnya ditarik kesimpulan sebagai jawaban dari permasalahan yang akan dipecahkan dalam penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Abu Batubara

Sifat-sifat teknis abu batubara dapat dilihat pada **Tabel 3**.

b. Tanah Lempung

Sifat-sifat fisik tanah lempung dapat dilihat pada **Tabel 4**. Hasil pengujian sifat-sifat fisik tanah diperoleh nilai aktivitas tanah lempung adalah 0,614

sehingga jenis dari mineral tanah adalah lempung *illite* yang memiliki aktivitas sedang.

Tabel 3. Sifat-sifat teknis abu batubara

Sifat-sifat Teknis	Satuan	Hasil Pengujian
Lolos saringan #200	%	97,98
Berat jenis		2,28
Berat isi gembur	gr/cm ³	1,131
Berat isi padat	gr/cm ³	1.231

c. Campuran Lempung dengan Abu Batubara

- Sifat-sifat indeks

Sifat-sifat indeks tanah asli dan campuran lempung dengan abu batubara dapat dilihat pada Tabel 5 dan kurva hubungan nilai batas-batas Atterberg terhadap campuran abu batu bara dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Hasil pengujian batas-batas Atterberg menunjukkan bahwa penambahan abu batubara dapat menurunkan indeks platisitas pada tanah lempung. Hal ini disebabkan oleh kemampuan mineral lempung menyerap air berkurang akibat

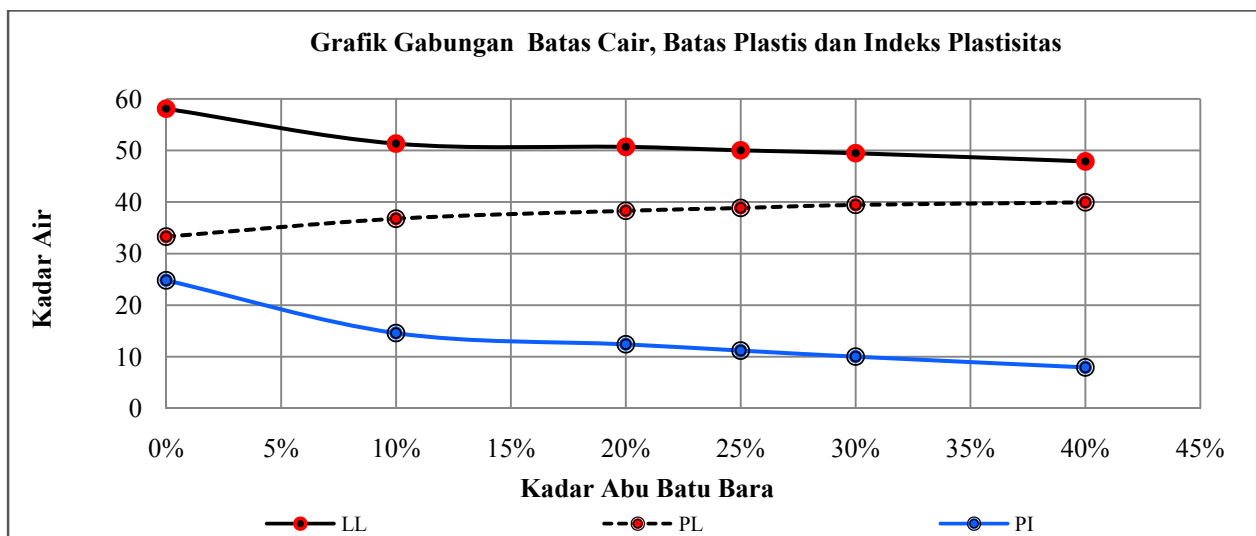
campuran abu batubara tersebut. Penurunan indeks plastisitas ditunjukkan dengan pengurangan nilai batas cair dan peningkatan nilai batas plastis pada campuran abu batubara

Tabel 4. Sifat-sifat fisik tanah lempung

Sifat-sifat Teknis	Satuan	Hasil Pengujian
Pasir (4,750 mm)	%	4,32
Lanau (0,060 mm)	%	55,29
Lempung (0,002 mm)	%	40,39
Batas cair (LL)	%	58,09
Batas plastis (PL)	%	33,28
Indeks plastisitas (IP)	%	24,81
Berat jenis (Gs)		2,51
Berat isi kering (γ_d)	gr/cm ³	1,306
Berat isi basah (γ_b)	gr/cm ³	1,846
Kadar air rata-rata (w)	%	42,135
Berat isi kering maks	gr/cm ³	1,700
Kadar air optimum	gr/cm ³	15,032
CBR tanpa rendaman	%	6,91
CBR rendaman	%	3,46

Tabel 5. Sifat indeks tanah terhadap tanah asli dan campuran lempung dengan abu batubara

Kadar abu batu bara (%)	Batas Cair, LL (%)	Batas Plastis, PL (%)	Indeks Plastisitas, PI (%)
0	58,09	33,28	24,81
10	51,33	36,75	14,58
20	50,68	38,28	12,41
25	50,02	38,84	11,18
30	49,45	39,43	10,02
40	47,86	39,93	7,93



Gambar 1. Hubungan nilai batas-batas Atterberg dan kadar abu batubara

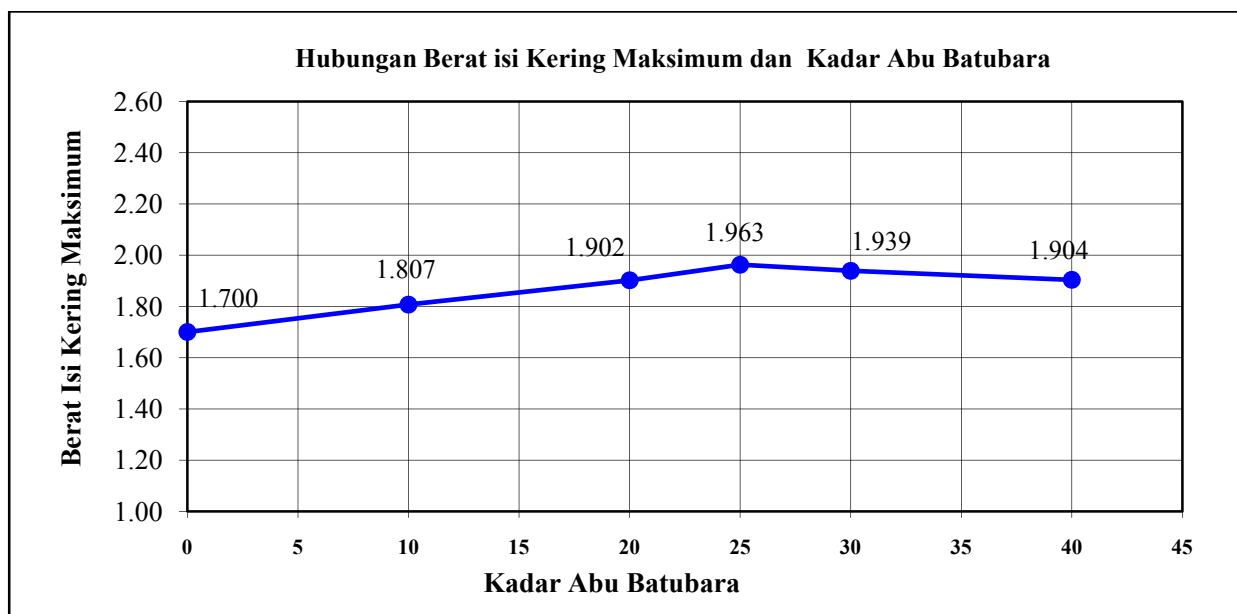
- Pengujian Pemadatan

Pengujian pemadatan untuk mendapatkan berat isi kering maksimum dan kadar air optimum. Kadar air optimum yang diperoleh baik pada tanah asli maupun tanah yang dicampur dengan abu batubara akan digunakan sebagai dasar pembuatan benda uji untuk pengujian CBR. Hasil pengujian pemadatan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Kurva pemadatan tanah asli dan campuran tanah lempung dengan abu batubara terhadap berat isi kering maksimum dan kadar air optimum dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.

Tabel 6. Hasil pemadatan tanah asli dan campuran lempung dengan abu batubara

Kadar abu batubara (%)	Kadar air optimum, W_{opt} (%)	Berat isi kering maksimum, γ_{dmax} (gr/cm ³)
0	15,032	1,700
10	12,266	1,807
20	11,099	1,902
25	9,753	1,963
30	9,614	1,939
40	9,163	1,904



Gambar 2. Hubungan berat isi kering maksimum dan kadar abu batubara

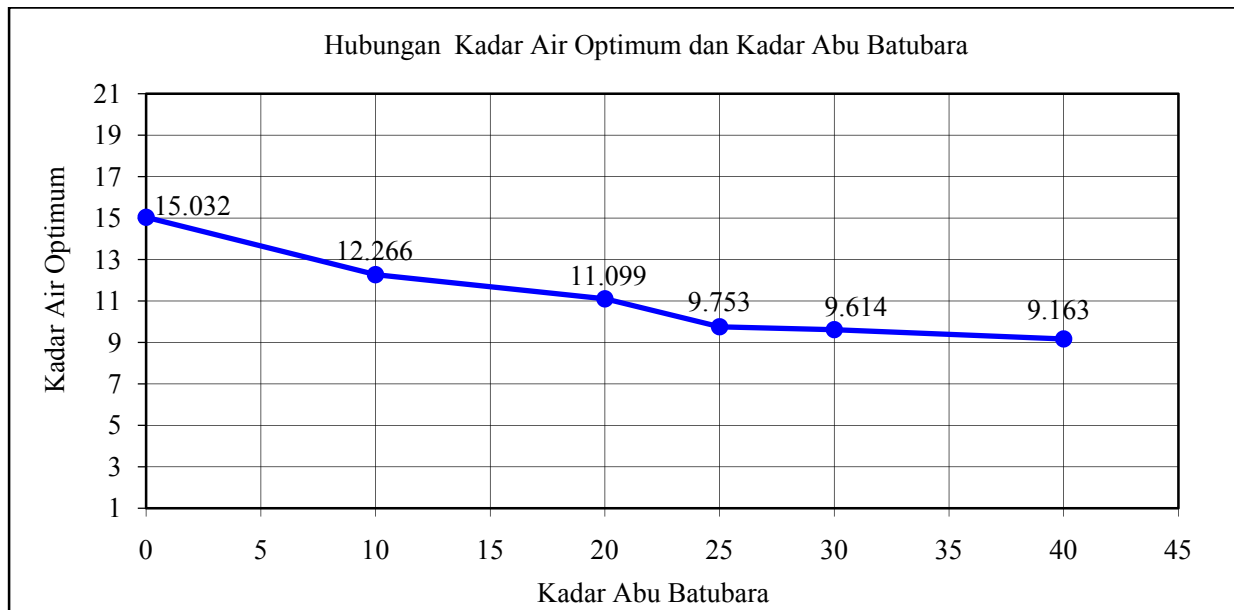
Hasil pengujian pada Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan abu batubara sebagai bahan stabilisasi tanah lempung dapat meningkatkan berat isi kering maksimum dan menurunkan kadar air optimum sesuai dengan kadar variasi campurannya. Berat isi kering maksimum meningkat secara bertahap dari variasi campuran 0% sampai 25% yaitu sebesar 1,700 kg/cm³ sampai 1,963 gr/cm³ dan untuk variasi campuran diatas 30% dan 40%, berat isi kering maksimum cenderung menurun sebesar 1,939 gr/cm³ dan 1,904 gr/cm³.

Terjadinya peningkatan pada berat isi kering maksimum diasumsikan karena abu batubara yang merupakan partikel halus *amorf* dan bersifat pozzolan dapat bereaksi dengan tanah lempung dengan media air membentuk senyawa yang bersifat saling mengikat satu sama lain sehingga campuran tersebut dapat membentuk suatu gumpalan massa yang padat menjadi partikel-partikel yang lebih besar yang dapat menutupi pori-pori tanah yang

sebelumnya berisi air dan udara, proses tersebut mengakibatkan peningkatan pada kepadatan dan kekuatan tanah.

Hasil pengujian menunjukkan juga penambahan kadar Abu batubara yang terlalu banyak dapat menurunkan berat isi kering maksimum, hal ini disebabkan karena berat jenis abu batubara lebih kecil.

Gambar 3 memperlihatkan Kadar air optimum menurun sejalan dengan penambahan kadar abu batubara. Penurunan kadar air terjadi secara bertahap dari variasi campuran 0% sebesar 15,032% sampai 40% sebesar 9,163. Penurunan kadar air optimum tersebut disebabkan adanya reaksi hidrasi yang akan mengabsorbsi air dari badan tanah, sehingga kadar air pada lapisan tanah akan berkurang.



Gambar 3. Hubungan kadar air optimum dan kadar abu batubara

- Pengujian CBR

Pengujian CBR dilakukan untuk mengetahui nilai CBR yang dapat dikerahkan oleh campuran tanah lempung dengan abu batubara. Nilai CBR dari tanah asli akan dijadikan sebagai kontrol dan akan dibandingkan dengan nilai CBR campuran tanah lempung dengan abu batubara.

Pemadatan benda uji untuk pengujian CBR mengikuti prosedur pemadatan proctor modifikasi pada kadar air optimum dari hasil pengujian pemadatan. Pengujian sampel dilakukan pada kondisi tidak terendam dan terendam selama 4 hari. Hasil pengujian CBR dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian CBR

Sampel	Variasi Campuran (%)	Nilai CBR Rata-rata (%)							
		Tidak Terendam				Terendam			
		A	B	C	Rata-Rata	A	B	C	Rata-Rata
1	0	7,10	7,23	6,42	6,91	3,78	3,35	3,26	3,46
2	10	10,72	10,72	10,62	10,69	6,67	8,98	8,10	8,44
3	20	17,41	16,89	17,59	17,50	11,96	11,63	10,98	11,47
4	25	20,60	20,72	20,36	20,56	12,02	12,16	12,17	12,12
5	30	19,29	19,35	19,44	19,36	11,21	11,14	11,18	11,17
6	40	15,89	15,85	15,85	15,08	10,41	10,33	10,12	10,29

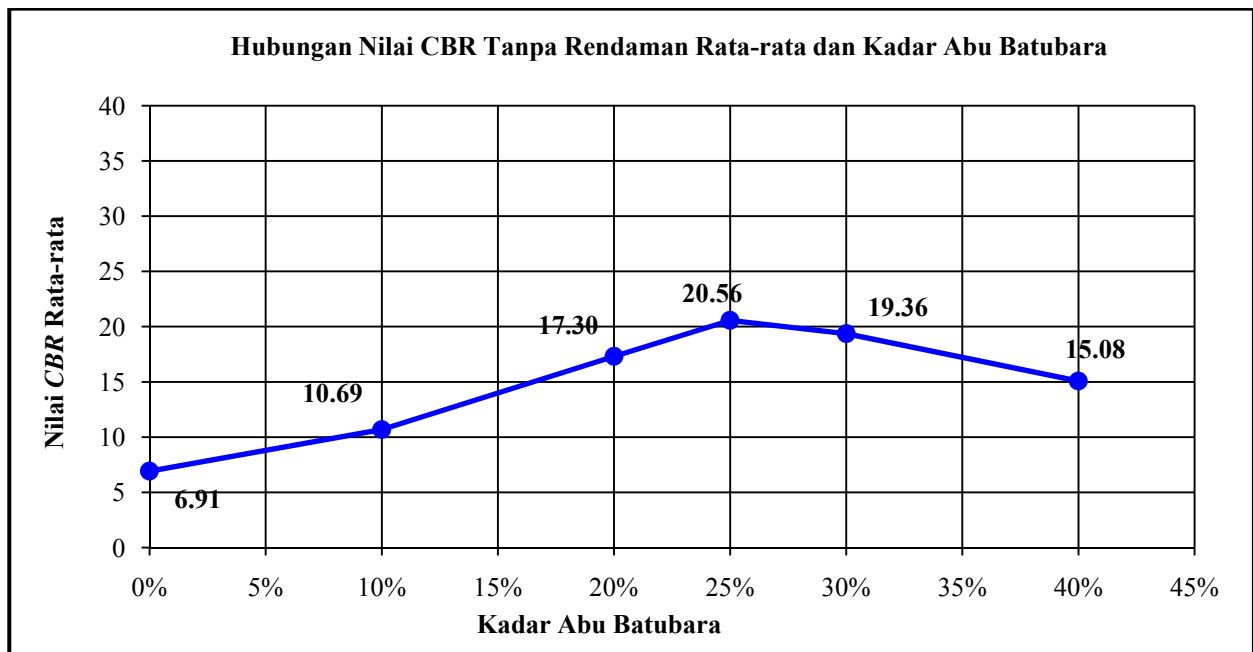
Hasil uji CBR pada Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa penambahan Abu batubara sebagai bahan stabilisasi tanah lempung dapat meningkatkan nilai CBR. Peningkatan nilai CBR yang maksimum baik pada CBR tanpa rendaman dan CBR rendaman terjadi pada kadar abu batubara 25%.

Nilai CBR tanpa terendam meningkat secara bertahap dari 6,91% menjadi 20,56% pada variasi campuran 0% dan 25% dan untuk variasi

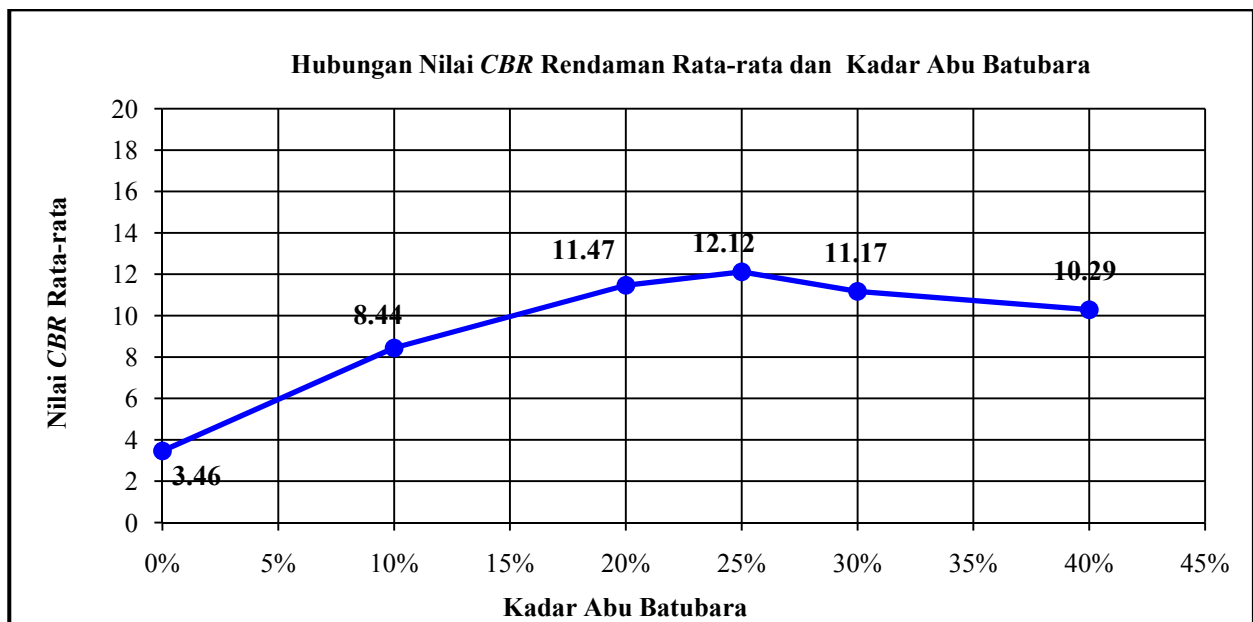
campuran 30% dan 40%, nilai CBR cenderung mengalami penurunan sebesar 19,36% dan 15,88%.

Peningkatan nilai CBR juga ditunjukkan pada pengujian CBR rendaman yaitu dari 3,46% menjadi 12,12% pada variasi campuran 0% dan 25% dan pada variasi campuran 30% dan 40% cenderung mengalami penurunan nilai CBR sebesar 11,17% dan 10,29% tetapi nilai CBR

tersebut masih memenuhi syarat sebagai lapisan tanah dasar untuk perkerasan jalan.



Gambar 4. Hubungan nilai CBR tanpa rendaman rata-rata dan kadar abu batubara



Gambar 5. Hubungan nilai CBR tanpa rendaman rata-rata dan kadar abu batubara

Nilai CBR yang diperoleh baik pada bagian atas maupun bawah untuk kondisi terendam cenderung menurun akibat adanya perendaman selama 4 (empat) hari. Rongga yang berisi udara akibat pemadatan yang belum maksimal akan terisi oleh air yang dapat mengakibatkan bertambahnya kadar air kedalam tanah sehingga tanah menjadi lunak serta dapat mengurangi perlawanan terhadap piston CBR, akibatnya nilai CBR cenderung akan menurun. Nilai CBR yang

diperoleh setelah perendaman dapat dianggap merupakan nilai terkecil yang mungkin akan terjadi pada lapis perkerasan jalan. Kondisi inilah yang dikatakan sebagai kondisi kritis.

Nilai CBR yang tidak terendam, berat isi kering pada kadar air optimum tidak berubah dengan demikian tanah dapat melakukan perlawanan terhadap piston CBR sampai batas tertentu, dimana nilai CBR menjadi tinggi.

Apabila dikaitkan dengan spesifikasi yang disyaratkan untuk lapisan perkerasan jalan, hasil pengujian CBR tanpa rendaman maupun CBR rata-rata terendam hanya dapat digunakan untuk tanah dasar (*subgrade*)

KESIMPULAN

1. Penambahan abu batubara pada tanah lempung dapat memperbaiki sifat-sifat indeks tanah yang ditandai dengan penurunan nilai indeks plastisitas. Nilai indeks plastisitas pada tanah asli 24,81% menjadi 7,93% pada kadar abu batubara 40%.
2. Hasil pengujian pemadatan menunjukkan peningkatan berat isi kering maksimum pada kadar abu batubara 25% yaitu dari 1,700 gr/cm³ menjadi 1,963 gr/cm³, dan kadar air optimum mengalami penurunan sejalan dengan bertambahnya kadar abu batubara yaitu dari 15,032% menjadi 9,163% pada kadar abu batubara 40%.
3. Kadar abu batu bara yang optimum pada pengujian CBR tanpa rendaman dan CBR rendaman adalah 25%. Untuk CBR tanpa rendaman dari 6,91% menjadi 20,56% dan untuk CBR rendaman dari 3,46% menjadi 12,12%.
4. Kadar abu batubara diatas 25% cenderung mengalami penurunan pada berat isi kering maksimum dan pada pengujian CBR baik tanpa rendaman maupun yang direndam tetapi penurunan yang terjadi tidak begitu besar dan masih memenuhi syarat sebagai lapisan tanah dasar untuk perkerasan jalan.
5. Abu batubara dapat digunakan sebagai bahan aditif untuk perbaikan tanah lempung sehingga

abu batubara dapat lebih bermanfaat dan dapat mengurangi limbah abu batubara tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E., 1991, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- Das, B. M., dkk, 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid 1, edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- Departemen ESDM, Badan Litbang ESDM, *Pemanfaatan Abu Batubara Sebagai Bahan Pembenh Tanah Atau Soil Conditioner Di Daerah Penimbunan Tailing Pengolahan Emas*, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara. www.tekmira.esdm.go.id
- Marinda Putri, 2008, *Penggunaan abu terbang batubara sebagai campuran beton untuk bangunan California Academy of Science*, [click photo to enlarge www.majarikanayakan.com](http://www.majarikanayakan.com)
- Hardiyatmo H. C., 2006. *Mekanika Tanah I*, edisi keempat, Gadjah mada University Press, Yogyakarta.
- Ingles, O.C. dan Metcalf, J.B., 1972, *Soil Stabilization Principles and Practice*, Butterworths, Sidney.
- Sukirman, Silvia, 1992, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung.
- Wesley, L.D. 1977. *Mekanika Tanah*, Cetakan VI, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.